

KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TRỄ THIÊN ĐỈNH VÀ HÀM LƯỢNG HƠI NƯỚC TỔNG CỘNG TẦNG ĐỐI LƯU TỪ SỐ LIỆU GPS Ở VIỆT NAM

LÊ HUY MINH, FRÉDÉRIC MASSON, P. LASSUDRIE DUCHESNE, A. BOURDILLON,
TRẦN THỊ LAN, PHẠM XUÂN THÀNH, NGUYỄN CHIẾN THẮNG,
TRẦN NGỌC NAM, HOÀNG THÁI LAN

I. MỞ ĐẦU

Hàm lượng hơi nước đóng một vai trò quan trọng trong các quá trình vật lý khí quyển trong phạm vi không thời gian rất rộng, từ các quá trình khí hậu toàn cầu tới các yếu tố vi khí hậu. Hàm lượng hơi nước cũng biến đổi mạnh nhất trong số các hợp phần của khí quyển, ngày nay người ta sử dụng nhiều công nghệ khác nhau để đo đạc trong đó có công nghệ GPS. Tín hiệu điện từ truyền từ các vệ tinh GPS qua tầng điện ly và tầng khí quyển tới máy thu đặt trên mặt đất bị trễ một khoảng thời gian nhất định so với thời gian truyền trong chân không. Môi trường điện ly là môi trường tán xạ tạo nên sự trễ khác nhau đối với hai tần số GPS phụ thuộc vào mật độ điện tử trong tầng điện ly. Với công nghệ GPS hai tần số, việc sử dụng các độ trễ này có thể tính toán nồng độ điện tử tổng cộng tầng điện ly, vì vậy ảnh hưởng của tầng điện ly có thể được tính toán. Tầng khí quyển (hoặc đúng hơn là tầng đối lưu) không phải là môi trường tán xạ, trong dải tần số sử dụng bởi công nghệ GPS, ảnh hưởng của hàm lượng hơi nước trong tầng đối lưu là như nhau đối với cả hai tần số, và việc tính toán được độ trễ tầng đối lưu làm cho công nghệ GPS trở thành một công cụ đo hàm lượng hơi nước [2, 4, 8, 10]. Việc tính toán độ trễ và hàm lượng hơi nước tầng đối lưu từ số liệu GPS hiện nay thường dùng các phần mềm chuyên dụng như phần mềm Gamit [14], phần mềm Bernese, phần mềm Gipsy-Oasis... Trong khuôn khổ hợp tác giữa Viện Vật lý Địa cầu và Trường Đại học Rennes 1, Trường Viễn thông Quốc gia Bretagne (Cộng hòa Pháp) ba trạm thu tín hiệu vệ tinh GPS liên tục được đặt tại Hà Nội, Huế và thành phố Hồ Chí Minh từ đầu năm 2005 và 2006. Việc sử dụng số liệu của các trạm thu GPS liên tục này trong nghiên cứu nồng độ

điện tử tổng cộng tầng điện ly đã được giới thiệu trong [18, 19]. Bài báo này trình bày nguyên lý chung của việc tính toán các tham số khí quyển từ số liệu GPS nói chung và kết quả tính toán độ trễ thiên đỉnh tổng cộng và hàm lượng hơi nước tổng cộng theo số liệu ba trạm GPS liên tục ở nước ta trong khoảng thời gian 2005-2006.

II. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Nguyên lý đánh giá ảnh hưởng tầng khí quyển lên sự truyền tín hiệu GPS và xác định hàm lượng hơi nước tổng cộng tầng đối lưu là xác định độ trễ của tín hiệu GPS so với truyền trong chân không. Độ trễ tổng cộng ΔL gây bởi tầng đối lưu là tích phân độ khúc xạ $N(1)$ của tầng đối lưu dọc theo đường đi L giữa anten máy thu và vệ tinh GPS :

$$\Delta L = 10^{-6} \int_L N \cdot dl \quad (1)$$

Đường đi L được tính theo nguyên lý Fermat : đường đi của tia sáng, để đi từ một điểm tới một điểm khác trong môi trường đẳng hướng, tương ứng với một thời gian đi cực tiểu.

Độ khúc xạ được biểu thị với giả thiết không khí khô lý tưởng là hàm của áp suất từng phần của không khí "khô" P_d , của nhiệt độ T và của áp suất từng phần của hơi nước P_w :

$$N = k_1 \frac{P_d}{T} Z_d^{-1} + k_2 \frac{P_w}{T} Z_w^{-1} + k_3 \frac{P_w}{T^2} Z_w^{-1} \quad (2)$$

với $Z_d^{-1} = 1,00027$ - modun nghịch đảo của độ nén của không khí khô, $Z_w^{-1} = 1,00201$ - modun nghịch đảo của độ nén của hơi nước, $k_1 = 77,60 \pm 0,05$ K/hPa, $k_2 = 70,4 \pm 2,2$ K/hPa, $k_3 = (3,739 \pm 0,012) \cdot 10^5$ K²/hPa.

Có thể viết lại phương trình (2) theo cách số hạng thứ nhất chỉ phụ thuộc áp suất tổng cộng và không phụ thuộc vào tỷ số (biến đổi) giữa áp suất riêng phần "khô" và "ẩm" :

$$N = k_1 R_d \rho + k_2 \frac{P_w}{T} Z_w^{-1} + k_3 \frac{P_w}{T^2} Z_w^{-1} \quad (3)$$

với $R_d = R/M_d$, $k_2 = k_2 - k_1 (M_w/M_d)$, R - hằng số khí lý tưởng, M_d và M_w - khối lượng phân tử gam của không khí khô và không khí ẩm, ρ - mật độ tổng cộng của không khí. Số hạng đầu tiên và hai số hạng cuối cùng được gọi tương ứng là độ khúc xạ thủy tinh của không khí ký hiệu là N_h và độ khúc xạ ẩm ký hiệu là N_w . Tập hợp các hợp phần khô của khí quyển có thể được nhóm lại trong 1 số hạng duy nhất vì tỷ lệ tương đối của khí này dường như không đổi theo thời gian. Các biến thiên do hoạt động của con người và biến thiên theo mùa của nồng độ khí CO_2 (cỡ 6 ppm/năm và 1,7 ppm/năm) không được chú ý tới trong dạng thức cổ điển của k_1 .

Tham số khí quyển chính xác định được từ việc xử lý số liệu GPS là độ trễ thiên đỉnh tổng cộng (Zenithal Total Delay - ZTD). Về phương diện vật lý nó tương ứng với độ trễ thiên đỉnh gây bởi khí quyển trung bình (theo đối xứng phương vị). Về phương diện toán học nó tương ứng với trung bình của các độ trễ giữa một trạm và các vệ tinh GPS được chiếu lên thiên đỉnh (theo phương thẳng đứng), biểu thị nhiều loạn liên quan với tập hợp khí của khí quyển giữa mặt đất và vệ tinh GPS (tầng điện ly được tách riêng).

Lượng hơi nước tích phân ở thiên đỉnh (IWP) có thể tính toán theo một quá trình đã được thiết lập [3] từ các phép đo áp suất và nhiệt độ bề mặt và từ ZTD.

Bước đầu tiên là đánh giá đóng góp của tập hợp khí bằng việc giả sử một cân bằng thủy tĩnh (độ trễ thiên đỉnh thủy tĩnh - Zenithal Hydrostatic Delay - ZHD). Các giá trị tiêu biểu của ZHD cỡ 2,3 m dưới các điều kiện khí quyển trung bình. ZHD có thể tính toán nhờ việc đo áp suất ở mặt đất từ công thức :

$$ZHD = \left[(0,0022768 \pm 0,0000015) m hPa^{-1} \right] \frac{P_0}{t(\varphi, H)} \quad (4)$$

$$t(\varphi, H) = 1 - 0,00265 \cos(2\varphi) - 0,000285H$$

với P_0 - áp suất tổng cộng ở bề mặt, φ - vĩ độ, H - độ cao tính từ mặt geoid. Độ không chắc chắn trong việc tính toán ZHD được đưa ra bởi U. Foelsche và G. Kirchengast [12].

ZHD là tổng tập hợp khí của khí quyển ở cân bằng thủy tĩnh trong đó có hơi nước. Đóng góp của hơi nước trong ZHD ngụ ý sai số cỡ 3 % trên độ trễ thiên đỉnh ướt (Zenithal Wet Delay - ZWD) và được truyền vào các tính toán tiếp theo như sai số ở việc đo độ ẩm bằng GPS. Sai số thiết bị của các đầu thu áp suất rất nhỏ, cỡ 0,1 hPa và không tách biệt được (cỡ 0,23 mm đối với ZHD cỡ 2,3m). Nhưng đầu thu áp suất không liên kết một cách hệ thống với các trạm GPS. Sai số nội suy (trước hết theo độ cao) từ vị trí của một đầu thu áp suất tới vị trí máy thu GPS có thể cỡ 1 hPa đối với những địa hình thay đổi mạnh và một đầu thu áp suất ở xa. Cuối cùng công thức tính ZHD giả sử cột khí quyển trên điểm đo là cân bằng thủy tĩnh. Cân bằng thủy tĩnh chỉ rõ các chuyển động thẳng đứng trong khí quyển là có thể bỏ qua. Thế nhưng các mô phỏng với các mô hình số không thủy tĩnh có độ phân giải cao dường như chỉ ra độ lệch khỏi cân bằng thủy tĩnh đưa tới những sai số lớn cỡ 10 mm trong tính toán ZHD. J.L. Davis và nnk [9] đã chỉ ra dưới các điều kiện khí quyển cực điểm như bão, gia tốc thẳng đứng có thể đạt tới 1 % gia tốc trọng lực, tức là sai số cỡ 20 mm. Sai số phạm phải khi đánh giá ZHD chắc chắn là một trong những hạn chế chính của việc đánh giá hơi nước bằng GPS.

Loại trừ ZHD khỏi ZTD, chúng ta thu được độ trễ ướt ZWD. ZWD thay đổi mạnh giữa các vùng khô và các vùng lạnh (cỡ centimet hoặc ít hơn) và ở vùng xích đạo ẩm ướt (đến 40 cm). ZWD cũng tỷ lệ với lượng hơi nước tích phân được biểu diễn bằng kg/m^2 . Để đánh giá lượng hơi nước tích phân (Integrated Water Vapour - IWV), cần chia ZWD cho nhân tử Π [6, 7] phụ thuộc tuyến thẳng đứng của áp suất riêng phần của hơi nước và của nhiệt độ trên trạm GPS :

$$\Pi = 10^{-8} \frac{M_w}{R} \rho \left(k_2 - k_1 \frac{M_w}{M_d} + \frac{k_3}{T_m} \right) \quad (5)$$

$$T_m = \frac{\int \frac{P_w}{T} dz}{\int \frac{P_w}{T^2} dz}$$

với M_w - khối lượng phân tử gam của hơi nước, M_d - khối lượng phân tử gam của không khí khô, P_w - áp suất riêng phần của hơi nước, ρ - mật độ nước lỏng, T - nhiệt độ.

Nhân tử Π thay đổi tuyến tính theo T_m , giá trị tiêu biểu cỡ 6,5 và có thể thay đổi hơn 15 % theo độ cao và theo mùa. Các hệ số k_1 , k_2 và k_3 thu được

bằng thực nghiệm và các sai số của chúng có thể bỏ qua trong tổng hợp sai số tính toán IWV. Khi thăm dò radio có mặt trong vùng gần trạm GPS, Π có thể được tính toán một cách trực tiếp. Khi không có thăm dò radio, tồn tại một mối liên hệ thực nghiệm giữa nhiệt độ bề mặt và Π . Công trình của T.R. Emanson và nnk [11] cho phép thiết lập các hệ số riêng cho mỗi vùng ở châu Âu :

$$\Pi = a_0 + a_1 \cdot T_{\Delta} + a_2 \cdot T_{\Delta}^2 \quad (6)$$

với T_{Δ} - nhiệt độ bề mặt (tính bằng độ Kelvin) trừ đi nhiệt độ bề mặt trung bình đối với vùng (289,76°K đối với vùng Địa Trung Hải), a_0, a_1, a_2 - các hệ số tính toán được bởi T.R. Emardson và H.J.P. Derks [11] (tương ứng là 6,324, -0,00177 K⁻¹ và 0,000075 K⁻² đối với vùng Địa Trung Hải).

Công thức của T_m với lớp phủ đất toàn cầu được tính toán bởi M. Bevis và nnk [3] từ nhiệt độ bề mặt :

$$T_m = 70,2 + 0,72 * T_0 \quad (7)$$

với T_0 - nhiệt độ bề mặt đo bằng độ Kelvin.

Sai số liên quan tới việc xác định Π từ nhiệt độ bề mặt chỉ dẫn đến một sai số của IWV cỡ 1 % [12].

Cuối cùng, IWV biểu thị độ ẩm trung bình có mặt trong khí quyển trên vị trí trạm GPS ; so sánh IWV đo được bởi GPS, thăm dò radio và đo bức xạ, không phát hiện sai lệch đáng kể nào của đo đạc bằng GPS. Sự phân tán các kết quả đo đạc giữa GPS và các thiết bị khác thay đổi giữa 1 và 2 kg/m². Nhận xét về độ chính xác này của việc đo đạc IWV bằng GPS cho phép coi IWV như là đại lượng có thể đo được không cần tìm kiếm sự cải thiện về kỹ thuật. Tương quan ngang của IWV cỡ vài trăm kilomet và vì vậy tương ứng với các bất đồng nhất của tầng giữa với một tỷ lệ thời gian cỡ tuần. Các kết quả này được cân bằng theo hàm số vùng địa lý và các hoàn lưu địa phương có thể dẫn đến các biến thiên lớn của độ ẩm. Định lượng hóa các tương quan sai số khi xác định IWV là khá phức tạp, trước hết do việc xử lý GPS và mạng lưới trạm thăm dò radio thưa thớt. Tuy nhiên so sánh giữa hơi nước tích phân đo được bằng GPS với hơi nước tích phân tính toán được từ các mô hình số đường như chỉ ra sự suy giảm theo hàm mũ của tương quan sai số với độ dài cỡ 250 km [13].

III. SỐ LIỆU VÀ XỬ LÝ SỐ LIỆU

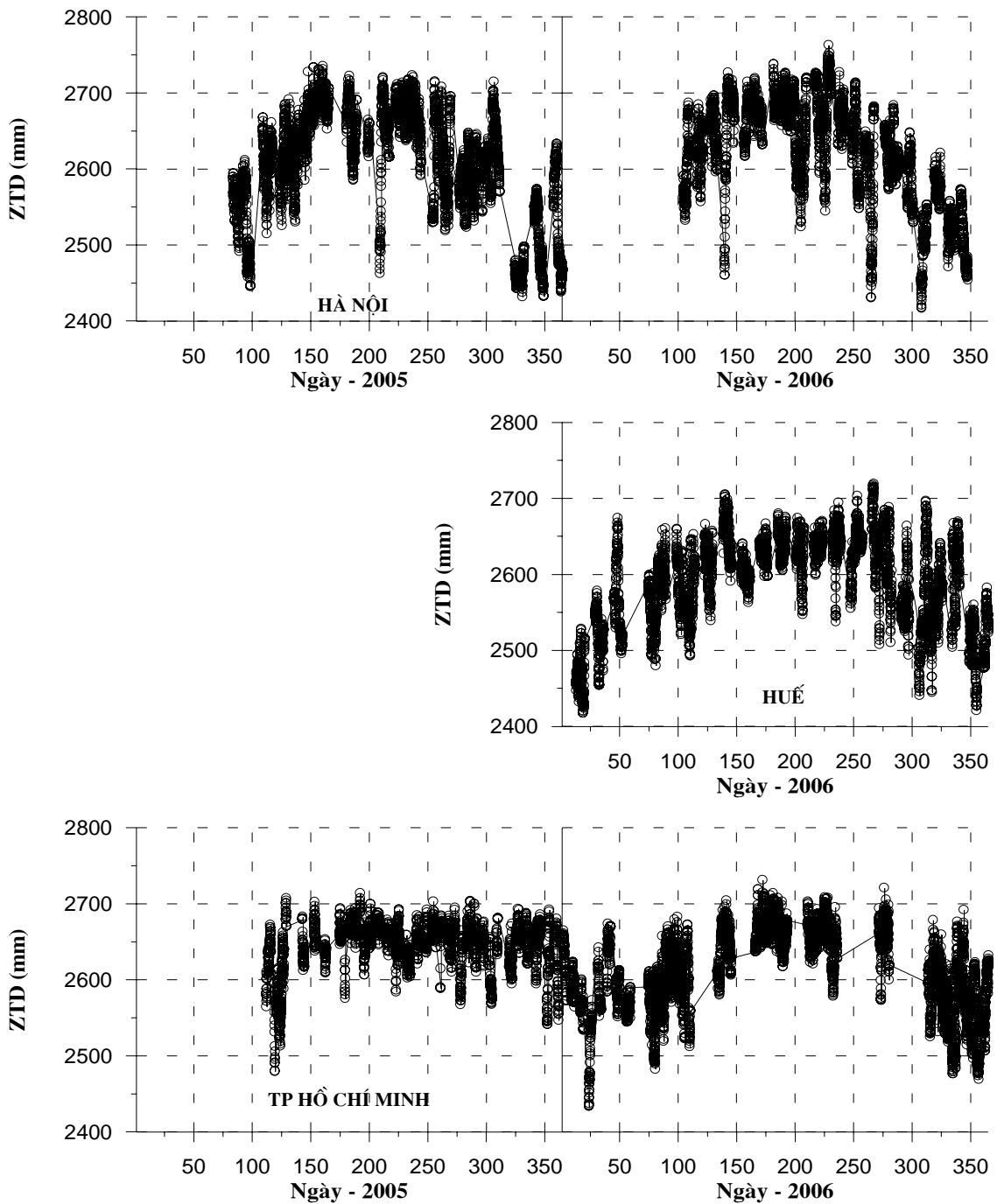
Số liệu dùng trong bài báo này là số liệu GPS liên tục của ba trạm thu GPS ở nước ta [18-21]. Đây

là các máy thu GPS loại GSV4004A và GSV4004B với bản điện tử thu nhận tín hiệu loại OEM4-G2 [22], với hai kiểu anten NOV503 (đi với máy GSV4004A) và NOV533 (đi với máy GSV4004B). Trạm Hà Nội từ 4-2005 đến 13-1-2006 đặt máy GSV4004A, sau đó đặt máy GSV4004B. Trạm Huế đặt máy GSV4004A, trạm Tp Hồ Chí Minh đặt máy GSV4004B. Các tệp số liệu thu nhận trực tiếp dưới định dạng *.gps được chuyển đổi sang các tệp số liệu RINEX bằng phần mềm đi kèm thiết bị, định dạng này sẽ được sử dụng cho các tính toán tiếp theo. Ngoài số liệu của ba trạm GPS liên tục ở Việt Nam chúng tôi còn sử dụng số liệu của một số trạm GPS liên tục khác trong khu vực như Pimo (Philippine), Kunm, Wuhn (Trung Quốc), Bako (Indonesia), Tcms (Đài Loan)... từ website của trung tâm dịch vụ GPS quốc tế <http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/dbDataBySite.cgi>.

Việc xử lý tài liệu GPS được thực hiện bằng phần mềm GAMIT/GLOBK [14]. Trước hết cần tính tọa độ chính xác của các trạm thu GPS trong hệ quy chiếu ITRF2000 [1]. Để tránh phân nào các hiệu ứng đa đường, số liệu từ các vệ tinh có góc nhìn lớn hơn 10° được sử dụng. Trước khi tính toán độ trễ thiên đỉnh tổng cộng và mô hình các tham số khí quyển phù hợp, phần mềm GAMIT tự động kiểm tra chất lượng của số liệu đưa vào, nếu số liệu có nhiều khoảng trống hoặc có chất lượng kém thì số liệu của trạm bị loại. Việc sử dụng thêm số liệu của nhiều trạm trong khu vực trong quá trình tính toán, đảm bảo khi chất lượng số liệu của một số trạm ở một ngày nào đó trong chuỗi thời gian tính toán không đảm bảo, việc xử lý đối với ngày đó vẫn được tiến hành và mô hình khí quyển xây dựng được phản ánh được cả tính chất khu vực. Như vậy chúng ta tính toán được ZTD từ phần mềm GAMIT, sau đó chúng tôi sử dụng mô hình giá trị áp suất và nhiệt độ từ mô hình toàn cầu [5] để tính toán độ trễ thiên đỉnh thủy tinh (ZHD), sau đó loại trừ ZHD khỏi ZTD chúng ta thu được độ trễ thiên đỉnh ướt ZWD, từ đó thu được IWV. Để đánh giá kết quả tính toán hàm lượng hơi nước từ số liệu GPS, chúng tôi tiến hành so sánh chuỗi giá trị hàm lượng hơi nước trung bình ngày từ số liệu GPS với số liệu hàm lượng hơi nước từ mô hình tái phân tích [16, 17] tính ở ba vị trí trạm GPS tại Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh.

IV. KẾT QUẢ VÀ PHÂN TÍCH

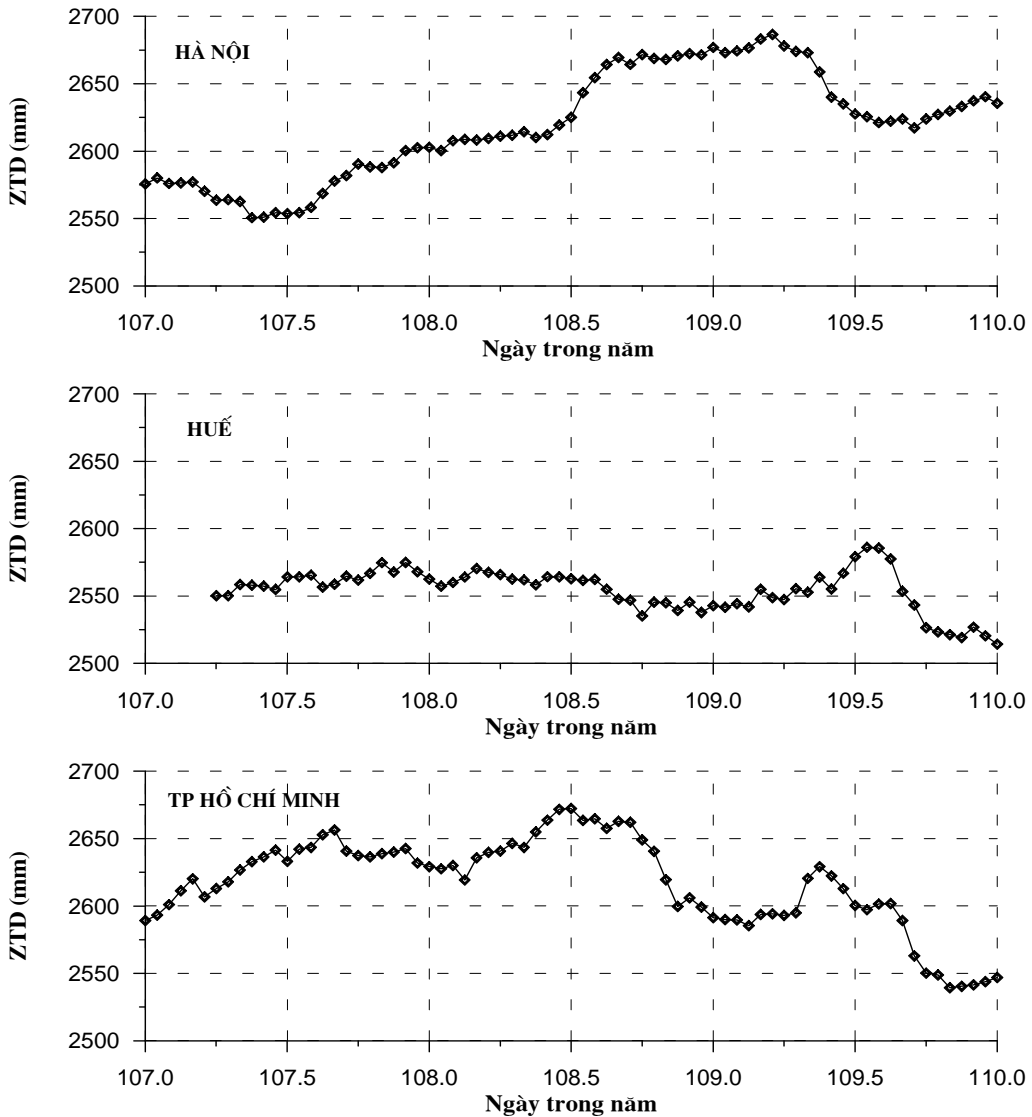
Hình 1 trình bày biến đổi theo thời gian của độ lệch thiên đỉnh tổng cộng tầng khí quyển tính với



Hình 1. Biến thiên theo thời gian của độ lệch thiên đỉnh tổng cộng tính được từ số liệu các trạm GPS tại Hà Nội (trên), Huế (giữa) và Tp Hồ Chí Minh (dưới)

chuỗi số liệu GPS trong khoảng thời gian 2005-2006. Chúng ta có thể thấy độ lệch thiên đỉnh tổng cộng ở cả ba trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh đều ở 2,4 đến 2,7 m. Độ lớn này hoàn toàn phù hợp với các kết quả thu được từ số liệu của các trạm GPS ở

các nơi khác trên thế giới [3, 9]. Độ lệch thiên đỉnh tổng cộng biến đổi trong một ngày với biên độ cỡ chục centimet, trong khi biên độ giao động trong năm cũng chỉ cỡ 30 cm. Hình 2 trình bày độ lệch thiên đỉnh tổng cộng trong ba ngày liên tiếp 107, 108

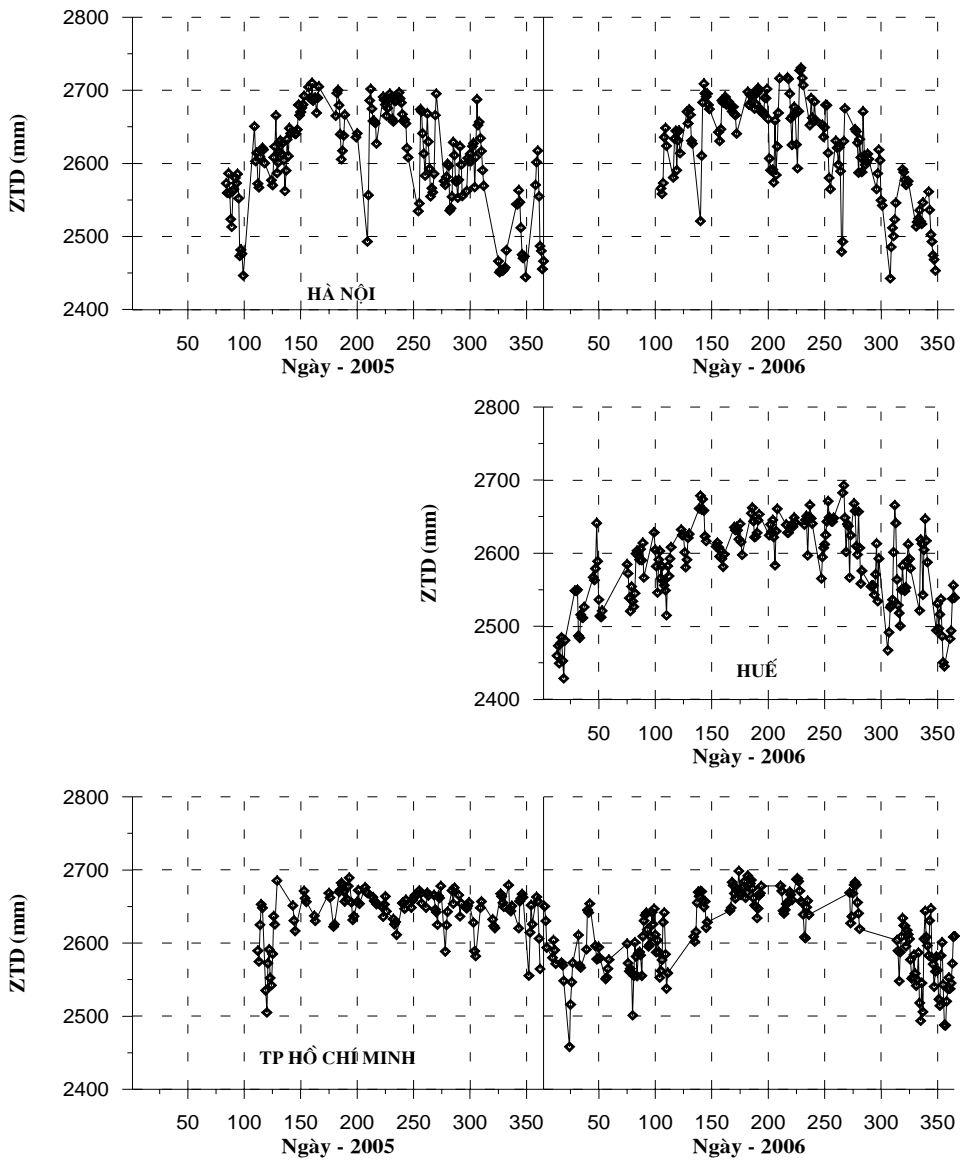


Hình 2. Độ trễ thiên đỉnh tổng cộng ngày 107-109 (16-18/04/2006) tại Hà Nội (trên), Huế (giữa) và Tp Hồ Chí Minh (dưới)

và 109 tức các ngày 16-18/04/2006. Chúng ta thấy mô hình khí quyển được tính toán cho số liệu của từng ngày, nhưng sự biến đổi từ ngày nọ sang ngày kia là liên tục, việc tính toán như vậy cho kết quả hợp lý. Có thể thấy xu thế biến đổi ngày đêm của ZTD tại ba trạm là hoàn toàn khác biệt nhau, điều này ngụ ý biến thiên các điều kiện khí quyển trong ngày ở ba nơi khác biệt nhau và không tương quan với nhau. Cũng phải nhấn mạnh rằng chuỗi số liệu ZTD thu được ở ba trạm còn thiếu nhiều ngày trong hai năm 2005 và 2006, ở nhiều đoạn điều này không phải do không có số liệu GPS, mà do chất lượng của số liệu không thỏa mãn các điều kiện của phần mềm

GAMIT, vấn đề này sẽ được chúng tôi tìm hiểu thêm cả về xem xét các tệp số liệu, cả về các tham số điều chỉnh trong phần mềm GAMIT. Mặc dù chuỗi số liệu không được liên tục như mong muốn, nhưng qua phân tích số liệu GPS tại ba trạm GPS ở nước ta trong hai năm 2005-2006 chúng ta quan sát thấy một xu thế biến đổi theo mùa khá rõ rệt; ZTD đạt cực đại vào khoảng giữa năm (tháng 8) và cực đại này rõ rệt nhất ở trạm Hà Nội, và cực tiểu vào khoảng đầu năm.

Hình 3 là biến thiên theo thời gian của ZTD trung bình ngày tại 3 trạm GPS Hà Nội, Huế và



Hình 3. Biến thiên theo thời gian của độ lệch thiên đỉnh tổng cộng trung bình ngày tính được từ số liệu các trạm GPS tại Hà Nội (trên), Huế (giữa) và Tp Hồ Chí Minh (dưới)

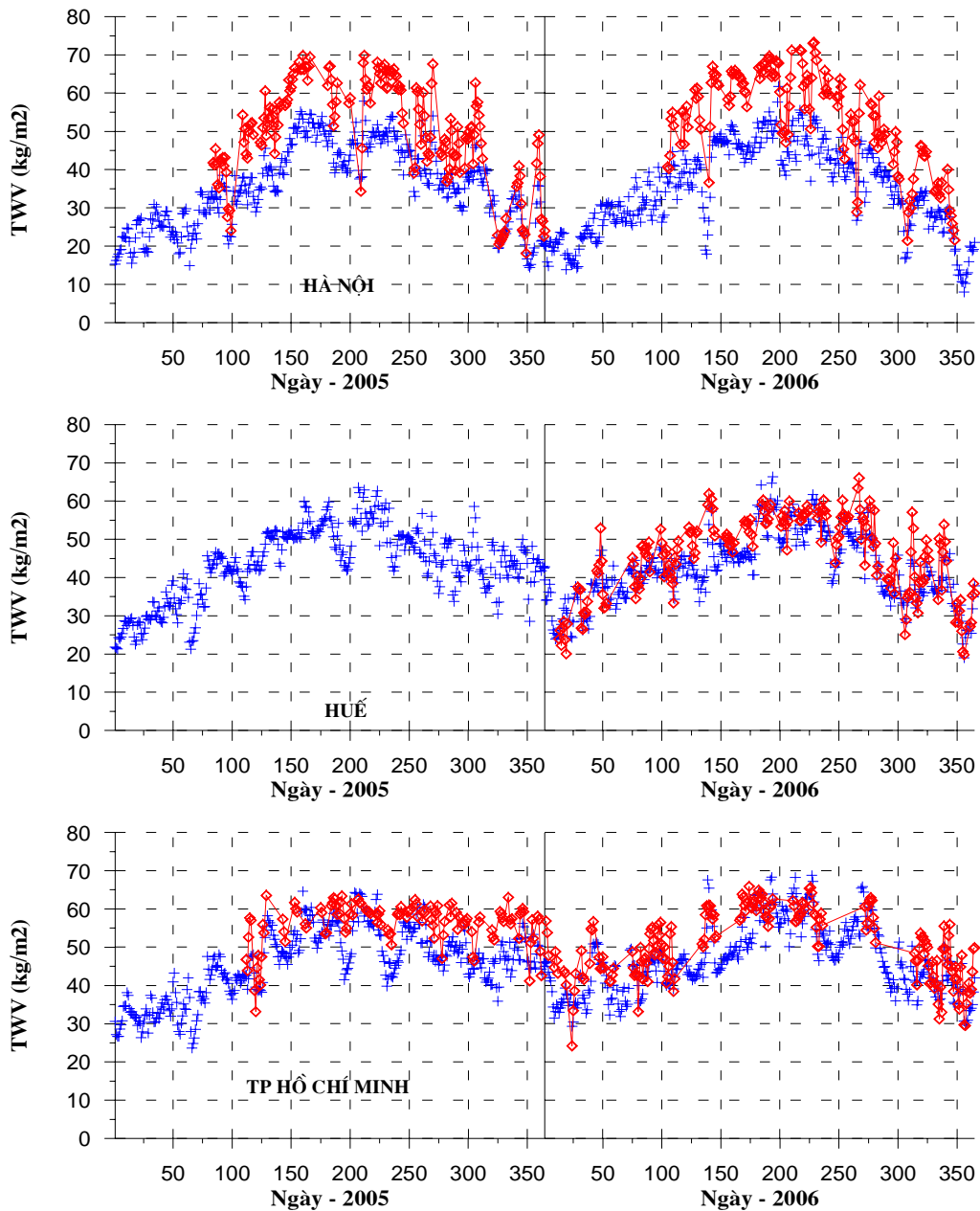
Tp Hồ Chí Minh. Trên hình 3 chúng ta có thể thấy biến đổi từ ngày này sang ngày khác của ZTD ở ba trạm có sự tương quan nhất định, điều này ngụ ý, nếu các biến đổi trong ngày của ZTD ở ba trạm có thể chỉ gây bởi các nhiễu động khí quyển có tính địa phương, trong khi biến đổi từ ngày này sang ngày kia phải gây bởi các nhiễu động khí quyển có tính khu vực rộng lớn hơn. Xu thế biến đổi năm của ZTD quan sát được trên hình 3 rõ ràng hơn nhiều.

Do không có số liệu nhiệt độ và áp suất đo trực tiếp tại các trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí

Minh, chúng tôi đã sử dụng giá trị nhiệt độ và áp suất tại các vị trí trạm tính mô hình nhiệt độ và áp suất toàn cầu của J. Boehm và H. Schuh, mô hình biểu diễn sự biến đổi của nhiệt độ và áp suất trong năm bằng các hàm điều hòa cầu được các nhà trắc địa sử dụng phần mềm GAMIT thường dùng. Các giá trị nhiệt độ và áp suất tính theo mô hình này cho phép tính toán độ trễ thiên đỉnh thủy tĩnh ZHD như đã nêu ở trên và sau đó loại trừ ZHD khỏi ZTD, chúng ta thu được độ trễ thiên đỉnh ướt ZWD và từ đó có thể tính được hàm lượng hơi nước tổng cộng

(IWV). Kết quả tính toán hàm lượng hơi nước tổng cộng trung bình ngày tại ba trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh trình bày trên hình 4. Để kiểm định các kết quả tính toán hàm lượng hơi nước từ số liệu GPS, trên hình 4 chúng tôi cũng trình bày hàm lượng hơi nước tổng cộng tính từ mô hình toàn cầu của M. Kanamitsu và nnk [17] như đã giới thiệu trong bài báo trước [20, 21].

Biến thiên theo thời gian của hàm lượng hơi nước tổng cộng ở hình 4 hoàn toàn giống như biến thiên theo thời gian của độ lệch thiên đỉnh tổng cộng ZTD. Điều này cũng dễ hiểu vì độ lệch thiên đỉnh thủy tinh ZHD biến đổi ít theo thời gian. Tuy nhiên cũng phải nhấn mạnh rằng để có mô hình ZHD hợp lý nhất phải dựa vào số liệu đo nhiệt độ và áp suất ở bề mặt tại vị trí đặt máy thu GPS, các

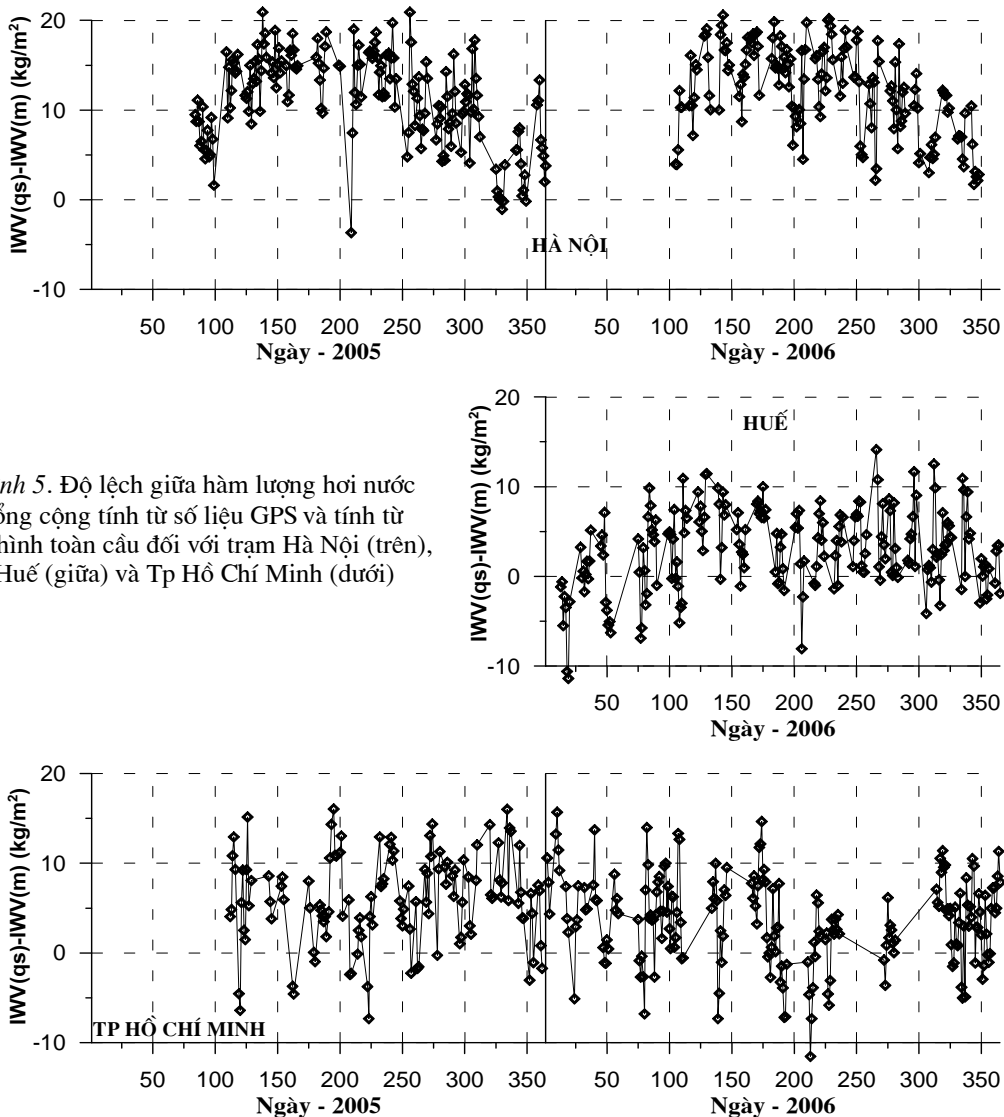


Hình 4. Hàm lượng hơi nước tổng cộng trung bình ngày tính từ số liệu GPS (các hình thoi rỗng) và tính từ mô hình toàn cầu (các dấu chữ thập) tại Hà Nội (trên), Huế (giữa) và Tp Hồ Chí Minh (dưới)

giá trị đo đạc trực tiếp như vậy chắc chắn sẽ biến đổi theo thời gian nhiều hơn so với các giá trị nhiệt độ và áp suất suy từ mô hình toàn cầu. Như thế việc xác định hàm lượng hơi nước sẽ có một sai số hệ thống do việc tính toán ZHD từ mô hình nhiệt độ và áp suất toàn cầu. Trong tương lai nếu có số liệu nhiệt độ và áp suất đo đạc liên tục tại khu vực Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh chúng ta có thể đánh giá được sai số này. Biến thiên hàm lượng hơi nước tổng cộng tại Hà Nội có xu thế biến thiên năm rất rõ ràng với cực đại vào khoảng tháng 8, ở Huế cực đại muộn hơn một chút vào khoảng tháng 9, ở Tp Hồ Chí Minh hàm lượng hơi nước cũng cực đại vào khoảng giữa năm, nhưng đỉnh cực đại không rõ rệt như ở Hà Nội và Huế. Xu thế này khá phù hợp với phân bố lượng

mưa trung bình tháng thu được từ quan sát khí tượng [23]. Biên độ biến thiên năm của hàm lượng hơi nước tổng cộng tại các trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh tương ứng bằng khoảng 50kg/m^2 , 40kg/m^2 và 30kg/m^2 ; như thế càng về phía xích đạo, biên độ biến thiên năm của hàm lượng hơi nước càng giảm. Cực tiểu của hàm lượng hơi nước tổng cộng vào khoảng tháng 1 hoặc tháng 2.

Từ hình 4 chúng ta thấy hàm lượng hơi nước tổng cộng trung bình ngày tính được từ số liệu GPS tại trạm Hà Nội phần lớn các ngày đều cao hơn hẳn các giá trị tương ứng tính từ mô hình toàn cầu, còn tại các trạm Huế và Tp Hồ Chí Minh, sự chênh lệch là nhỏ hơn. Hình 5 biểu thị độ lệch hàm lượng hơi



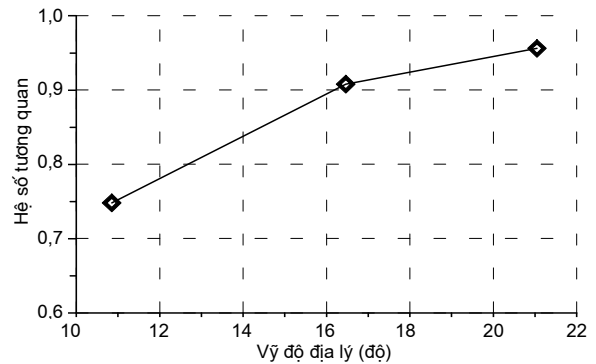
Hình 5. Độ lệch giữa hàm lượng hơi nước tổng cộng tính từ số liệu GPS và tính từ mô hình toàn cầu đối với trạm Hà Nội (trên), Huế (giữa) và Tp Hồ Chí Minh (dưới)

nước tổng cộng tính từ số liệu GPS và từ mô hình toàn cầu. Chúng ta có thể thấy ở trạm Hà Nội phần lớn các giá trị độ lệch này đều dương, còn ở các trạm Huế và Tp Hồ Chí Minh, số giá trị độ lệch âm nhiều hơn so với trạm Hà Nội, tuy nhiên ở các trạm Huế và Tp Hồ Chí Minh số các giá trị độ lệch dương vẫn nhiều hơn số các giá trị độ lệch âm. Tại trạm Hà Nội độ lệch gần vị trí cực đại giữa năm cũng lớn hơn tại vị trí cực tiểu. Độ lệch tuyệt đối trung bình giữa hàm lượng hơi nước tổng cộng tính từ số liệu GPS và từ mô hình toàn cầu đối với các trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh tính được từ chuỗi số liệu 2005-2006 tương ứng bằng 11,7 kg/m², 4,4 kg/m² và 5,7kg/m².

Chúng ta thấy trên hình 4, ở trạm Hà Nội mặc dù sự chênh lệch giữa hai đường cong hàm lượng hơi nước tổng cộng là lớn, nhưng xu thế biến đổi của chúng lại khá phù hợp nhau. Để đánh giá mức độ phù hợp giữa hàm lượng hơi nước theo số liệu GPS và hàm lượng hơi nước theo mô hình, chúng tôi tính hệ số tương quan giữa chúng cho từng năm số liệu và kết quả được trình bày ở *bảng 1*. Hệ số tương quan đối với trạm Hà Nội ở cả hai năm gần như nhau (0,95-0,96), đối với trạm Huế là 0,908, đối với trạm Tp Hồ Chí Minh tương quan là nhỏ hơn với giá trị trung bình cho cả hai năm là 0,75. *Hình 6* là biểu thị sự biến đổi theo vĩ độ của hệ số tương quan giữa IWV tính từ số liệu GPS và tính từ mô hình toàn cầu, chúng ta thấy rõ xu thế giảm dần của hệ số tương quan khi lại gần xích đạo. Những kết quả trên đây cho thấy, khi xử lý số liệu GPS ở phần miền Bắc nước ta với mục đích nghiên cứu dịch chuyển vỏ Trái Đất sử dụng mô hình khí quyển toàn cầu để hiệu chỉnh ảnh hưởng của tầng khí quyển mặc dù có thể là thích hợp nhưng sẽ mắc phải một sai số có tính chất hệ thống ; khi xử lý số liệu GPS ở phần miền Nam nước ta, thì việc sử dụng mô hình khí quyển toàn cầu để hiệu chỉnh ảnh hưởng của tầng khí quyển sẽ cho sai số lớn hơn.

Bảng 1. Hệ số tương quan giữa hàm lượng hơi nước tổng cộng tính được từ số liệu GPS và từ mô hình toàn cầu

Trạm GPS	Năm	Hệ số tương quan
Hà Nội	2005	0,960
	2006	0,952
Huế	2006	0,908
Tp Hồ Chí Minh	2005	0,630



Hình 6. Sự thay đổi của hệ số tương quan giữa hàm lượng hơi nước trung bình ngày tính từ số liệu GPS và tính từ mô hình toàn cầu

KẾT LUẬN

Sử dụng số liệu thu thập được tại ba trạm thu tín hiệu GPS liên tục Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh cùng với số liệu của một số trạm GPS trong khu vực, độ lệch thiên đỉnh tổng cộng và hàm lượng hơi nước tổng cộng tầng đối lưu đã được tính toán trong khoảng thời gian 2005-2006. Các kết quả thu được trong bài báo có thể rút ra một số kết luận sau :

- Kết quả tính toán ZTD tầng khí quyển thu được từ số liệu các máy thu GPS liên tục ở nước ta biến đổi liên tục từ ngày nọ sang ngày kia trong khoảng từ 2,4 đến 2,75 m, phù hợp về độ lớn với các kết quả tính toán ZTD ở nhiều vùng khác trên thế giới.

- Hàm lượng hơi nước trung bình ngày biến thiên mạnh từ ngày nọ sang ngày kia với xu thế biến thiên năm rất rõ rệt. Tại trạm Hà Nội IWV đạt cực đại vào khoảng tháng 8, tại Huế vào khoảng tháng 9, tại Tp Hồ Chí Minh vào khoảng tháng 7-8 nhưng đỉnh cực đại kém rõ ràng hơn so với ở Hà Nội và Huế ; IWV đạt cực tiểu vào khoảng tháng 1 hoặc tháng 2. Biên độ biến thiên năm của IWV tại các trạm Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh tương ứng bằng khoảng 50kg/m², 40kg/m² và 30kg/m² ; càng gần xích đạo, sự chênh lệch của hàm lượng hơi nước giữa mùa khô và mùa mưa càng nhỏ.

- IWV tính được từ số liệu GPS phần lớn đều lớn hơn giá trị mô hình. Độ lệch tuyệt đối trung bình giữa IWV tính từ số liệu GPS và từ mô hình toàn cầu tại Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh lần lượt bằng 11,7kg/m², 4,4 kg/m² và 5,7 kg/m². Hệ số tương quan trung bình trong 2 năm 2005-2006 giữa IWV tính từ số liệu GPS và từ mô hình toàn cầu tại

ba trạm trên tương ứng là 0,95, 0,91 và 0,75, nghĩa là càng gần xích đạo, sự phù hợp về xu thế biến đổi theo thời gian giữa IWV tính từ số liệu GPS và từ mô hình càng kém, mô hình khí quyển toàn cầu không bao hàm được các nhiễu động khí quyển tỷ lệ nhỏ phát hiện được ở số liệu GPS.

- Thông tin về IWV thu được từ số liệu GPS là rất tốt, trong tương lai nếu có nhiều trạm thu GPS trên lãnh thổ nước ta và việc tính toán IWV gần như cập nhật, có thể được đưa vào mô hình dự báo khí tượng khu vực để tăng thêm chất lượng của mô hình dự báo.

Lời cảm ơn : bài báo được hoàn thành với sự trợ giúp kinh phí của đề tài nghiên cứu cơ bản "Xử lý số liệu ba trạm thu GPS liên tục đặt tại Hà Nội, Huế và Tp Hồ Chí Minh với những ứng dụng cơ bản trong nghiên cứu nồng độ điện tử tầng cộng tầng điện ly ở Việt Nam và chuyển động vỏ Trái Đất ở các vùng quan sát", mã số 711906 và đề tài cấp nhà nước "ứng dụng công nghệ vũ trụ để đánh giá ảnh hưởng của tầng điện ly và tầng khí quyển tới độ chính xác khi sử dụng tín hiệu vệ tinh ở khu vực Việt Nam".

TÀI LIỆU DẪN

[1] Z. ALTAMIMI, P. SILLARD, C. BOUCHER, 2002 : A new release of the International Terrestrial Reference Frame for earth science applications, *J. Geophys. Res.*, 107 (B10), 2214, doi:10.1029/2001JB000561.

[2] S. BASTIN, C. CHAMPOLLION, O. BOCK, P. DROBINSKI and F. MASSON, 2005 : On the use of GPS tomography to investigate water vapor variability during a Mistral/sea breeze event in southeastern France, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L05808, doi: 10.1029/2004GL021907.

[3] M. BEVIS, S. BUSINGER, T. HERRING, C. ROCKEN, R. ANTHES and R. WARW, 1992 : GPS meteorology : mapping zenith wet delays onto precipitable water, *J. Applied meteorology*, 33, 379-386.

[4] O. BOCK, M.N. BOUIN, Y. MORILLE and T. LOMMATZSCH, 2003 : Study of the sensitivity of ZTD estimates to GPS data analysis procedure, paper presented at EGS-AGU-EUG Joint Assembly XXVII, Eur. Geophys. Soc., Nice.

[5] J. BOEHM & H. SCHUH, 2006 : Global pressure and temperature (GPT): a spherical harmonic

expression of annual pressure and temperature variations for geodetic applications, *J. Geodesy*.

[6] J. BOEHM, A. NIELL, P. TREGONING & H. SCHUH, 2006a : A new empirical mapping function based on numerical weather model data, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L07304, doi:10.1029/2005/GL025546.

[7] J. BOEHM, B. WERL & H. SCHUH, 2006b : Troposphere mapping functions for GPS and very long baseline interferometry from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts operational analysis data, *J. Geophys. Res.*, 111, B02406, doi:10.1029/2005JB003629.

[8] C. CHAMPOLLION, F. MASSON, J. VAN BAELEN, A. WALPERSDORF, J. CHERY, E. DOERLINGER, 2004 : GPS monitoring of the tropospheric water vapor distribution and variation during the 9 September 2002 torrential precipitation episode in the Cevennes (southern France), *J. Geophys. Res.*, 109, D24102, doi:1029/2004JD004897.

[9] J.L. DAVIS, G. ELGERED, A.E. NIELL, C.E. KUEHN, 1985 : Geodesy by radio interferometry : Effects of atmospheric modelling errors on estimation of baseline length, *Radio Sci.*, 20, 1593-1607.

[10] J DUAN. et al, 1996: GPS Meteorology : Direct estimation of the Absolute Value of Precipitable Water, *J. Appl. Meteor.*, 35, 830.

[11] T.R. EMARDSON and H.J.P. DERKS, 1999 : On the relation between the wet delay and the integrated precipitable water vapour in the European atmosphere, *Meteorological Applications*, 6, 1-12.

[12] U. FOELSCHE and G. KIRCHENGAST, 2001 : Tropospheric water imaging by combination of ground-based and spaceborne GNSS sounding data, *J. Geophys. Res.*, 106, D21, 27221-27231.

[13] J. HAASE, M. GE, H. VEDEL, E. CALAIS, 2003 : Accuracy and Variability of GPS tropospheric delay measurements of water vapor in the Mediterranean, *J. Applied Meteorology*, 42, 1547-1568.

[14] T.A. HERRING, R.W. KING, S.C. McCLUSKY, 2006. *Gamit reference manual*, release 10.3.

[15] B. HOFTMANN-WELLENHOF, H. LICHTENEGGER and J. COLLINS, 2001: *GPS Theory and Practice*, Springer.

[16] E. KALNAY et al, 1996 : The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-462.

[17] M. KANAMITSU et al, 2002 : NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). Bull. Amer. Meteor. Soc., **83**, 1631-1642.

[18] LÊ HUY MINH, A. BOURDILLON, P. LASSUDRIE-DUCHESNE, R. FLEURY, NGUYỄN CHIẾN THẮNG, TRẦN THỊ LAN, NGÔ VĂN QUÂN, LÊ TRƯỜNG THANH, TRẦN NGỌC NAM, HOÀNG THÁI LAN, 2006 : Xác định nồng độ điện tử tổng cộng tầng điện ly ở Việt Nam qua số liệu các trạm thu tín hiệu vệ tinh GPS, Tc Địa chất, **A296**, 54-62.

[19] LÊ HUY MINH, NGUYỄN CHIẾN THẮNG, TRẦN THỊ LAN, R. FLEURY, P. LASSUDRIE-DUCHESNE, A. BOURDILLON, C. AMORY-MAZAUDIER, TRẦN NGỌC NAM, HOÀNG THÁI LAN, 2007: ảnh hưởng của bão từ tới nồng độ điện tử tổng cộng vùng dị thường điện ly xích đạo Đông Nam á quan sát được từ số liệu GPS, Tạp chí Các khoa học Trái Đất, T. 29, **2**, 104-112.

[20] LÊ HUY MINH, PHẠM XUÂN THẠNH, NGUYỄN CHIẾN THẮNG, TRẦN THỊ LAN, R. FLEURY, P. LASSUDRIE DUCHESNE, A. BOURDILLON, C. AMORY-MAZAUDIER, TRẦN NGỌC NAM, HOÀNG THÁI LAN, 2008 : Đánh giá quan hệ giữa hàm lượng hơi nước khí quyển và độ chính xác định vị tuyệt đối bằng GPS ở Việt Nam, Tạp chí Các Khoa học Trái Đất, T. 30, **2**, 161-169.

[21] LE HUY MINH, PHAM XUAN THANH, NGUYEN CHIEN THANG, TRAN THI LAN, R. FLEURY, P. LASSUDRIE DUCHESNE, A. BOURDILLON, C. AMORY-MAZAUDIER, TRAN NGOC NAM, HOANG THAI LAN, 2008 : Total tropospheric water vapour and precision of the absolute position by GPS in Vietnam, J. Geology, Serie B, **31-32**, 118-126.

[22] NOVATEL, 2003 : OEM4 family of receivers, USER manual.

[23] PHAM XUAN THANH, 2008 : Étude climatique de la mousson vietnamienne et application à la prévision saisonnière, Thèse, Université de Bourgogne.

SUMMARY

Preliminary results of the estimation of the zenith total delay and the integrated water vapour of the troposphere by GPS data in Vietnam

This paper presents the results of the estimation of the zenith delay (ZTD) and the integrated water vapour (IWW) from the Hanoi, Hue and Ho Chi Minh city continuous GPS data during the 2005-2006 period. It is found that the ZTD in Hanoi, Hue and Ho Chi Minh city varies day-to-day in the range of about 2,4-2,7 m and presents a very clearly annual variation. The variations of the GPS IWW are quite similar. The IWW maximum is in August at Hanoi, in September in Hue and in June-July in Ho Chi Minh city, but the IWW maximum in Ho Chi Minh city is not as clear as in Hanoi or in Hue. The IWW minimum is in January or in February. The amplitude of the annual variations of the IWW are about 50 kg/m², 40 kg/m² and 30kg/m² in Ha Noi, in Hue and in Ho Chi Minh city respectively, this means that the difference of the IWWs between the raining and the dry seasons is smaller as near as the equator. The IWW calculated from the GPS data are greater than the one from the NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis global model. The mean absolute deviations between the GPS and model IWWs are 11.7 kg/m², 4.4 kg/m² and 5.7 kg/m² in Hanoi, in Hue and in Ho Chi Minh city, but the correlation between the GPS and model IWWs is of 0.95, 0.91 and 0.75 for Hanoi, Hue and Ho Chi Minh city respectively. So the agreement between the GPS and global model IWWs in the South Vietnam is not so good as in the North, this implicates that the small scale atmospheric perturbations near the equator could not be included in the global atmospheric model. These results show that the IWW deduced from the GPS data has good quality and could be used for a forecast climatological model.

Ngày nhận bài : 09-01-2009

*Viện Vật lý địa cầu,
Viện Vật lý địa cầu Strasbourg (Pháp),
Trường Viễn thông quốc gia Bretagne (Pháp),
Trường Đại học Rennes 1 (Pháp),
Trường Đại học Khoa học Huế,
Phân Viện Vật lý Tp Hồ Chí Minh,*